



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: Diseño y estudio de viabilidad de un prototipo con capsula extraíble para salvar al pasaje en caso de emergencia

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

AUTORA: Paula Pulido Martínez

DIRECTOR: Joan Moltó Rando

FECHA: 06 de Septiembre de 2019

Resumen

En este trabajo de final de grado se plantea el diseño y el posterior estudio de viabilidad de un prototipo de una cabina desmontable que podría expulsarse en pleno vuelo. El sistema de expulsión se activaría como último recurso, en caso de que no hubiera manera de volver a tomar el control del avión.

Se estudiará el material adecuado para la cápsula, la forma (aerodinámica) que permita mejores actuaciones, el coste que supondría, y cómo reducirlo al máximo posible para que fuera viable implantarlo en las aeronaves.

Este método de seguridad debería añadirse a las aeronaves nuevas, y quizás, añadirse en las aeronaves existentes si no supusiera un coste excesivo.

¿El coste haría que sólo las aeronaves de altas prestaciones pudieran disponer de este sistema? ¿Debería haber un incremento notable en la venta de vuelos para poder permitir los costes de la cápsula? ¿Estarían los pasajeros dispuestos a pagar un coste extra si a cambio dispusieran de la seguridad que proporcionaría?

Estas cuestiones formarán, entre otras, se plantean durante este estudio y serán las que determinarán si finalmente sería viable o no implantar este diseño en la aviación comercial actual.

Overview

In this final degree project, it is proposed the design and the subsequent feasibility study of a prototype of a detachable cabin that could be ejected in any phase of the flight. The expulsion system would be activated as a last resource, in case there is no other possibility to be able to take control of the plane.

The appropriate material for the capsule will be studied, the shape (aerodynamics) that allows better performances, the cost that it would entail, and how to reduce it as much as possible so that it is feasible to implant it in the aircraft.

This safety method should be added to new aircraft, and perhaps added to existing aircraft if this would not mean an excessive cost.

Would the cost be so high that it could cause that only private aircraft could allow this safety method? Should there be a notable increase in ticket sales to allow capsule costs? Would the passengers be willing to pay an extra cost if they had the security it would provide?

These issues, among others, will be part of this study and will be the ones that will determine if it would finally be viable or not to implement this design in current commercial aviation.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1. HISTORIA.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Accidentes	9
CAPÍTULO 2. FUNCIONALIDAD Y DISEÑO	13
2.1. Introducción.....	13
2.2. Modo de funcionamiento.....	13
2.3. Elementos del sistema.....	15
2.4. Paracaídas.....	15
2.5. Propulsores.....	19
CAPÍTULO 3. DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES	20
CAPÍTULO 4. MATERIALES.....	23
CAPÍTULO 5. COSTE.....	28
CAPÍTULO 6. SEGURIDAD.....	29
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXO A: BOCETOS CÁPSULA.....	I

Lista de figuras

Figura 1. Ruta del Vuelo 123 de Japan Airlines	9
Figura 2. Ruta prevista vuelo 447 Air France	10
Figura 3. Antonov An-12	10
Figura 4. Trayectoria del vuelo RA-11125 de Avis Amur.....	10
Figura 5. Coordenadas de la trayectoria del vuelo 610 de Lion Air	11
Figura 6. Altitud-Velocidad del vuelo 610 de Lion Air	11
Figura 7. Velocidad de caída según uso según el uso del paracaídas.....	18
Figura 8. Herramienta de estimación del área del paracaídas	18
Figura 9. Criterios de selección materiales	24
Figura 10. Fibra de Carbono	25
Figura 11. Materiales que forman la estructura del Airbus A380.....	26
Figura 12. Explicación del Diagrama “Bow-Tie”	29
Figura 13. Sistema CAPS (Cirrus Aircraft Parachute System) Cirrus SR22.....	34

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla resumen de accidentes aéreos ocurridos.....	12
Tabla 2. Especificaciones técnicas Airbus A320-200	20
Tabla 3. Especificaciones técnicas Boeing B747-200B.....	21
Tabla 4. Propiedades características de los materiales usados en aviación....	26
Tabla 5. Peligro 1: Caída de cápsula sobre propulsores inflamables.....	30
Tabla 6. Peligro 2: Apertura paracaídas.....	30
Tabla 7. Peligro 3: Activación de la cápsula en un área de desnivel.....	31
Tabla 8. Peligro 4: Activación inintencionada del sistema.....	31
Tabla 9. Peligro 5: Problemas de masa y centrado.....	31
Tabla 10. Peligro 6: Desprendimiento de elementos encima de núcleos de población.....	32
Tabla 11. Peligro 7: Diferente combustible para motores y propulsores	32
Tabla 12. Clasificación de Riesgo	32
Tabla 13. Acciones asociadas al nivel de riesgo que conlleve un peligro	33

Glosario

¹ mamparo de presión: Elemento estructural que acota la zona presurizada del fuselaje del avión separándola del resto.

²*fugoide*: Oscilación de periodo largo, con grandes variaciones en la amplitud de la velocidad, del ángulo de cabeceo y de la altitud de una aeronave.

³*empenaje*: Cada una de las superficies planas situadas detrás de las alas o en la parte posterior del fuselaje del avión, que sirven para dar estabilidad.

⁴resistencia a la fatiga: Valor del esfuerzo que puede resistir un material durante una cantidad dada de ciclos de carga.

⁵*tailstrike*: Cuando existe contacto con la parte baja de la cola de la aeronave con la pista durante el despegue o el aterrizaje.

⁶barómetro aneroide: Barómetro en el que se ha hecho el vacío en su interior (aneroide significa sin aire).

⁷ahusado: Que tiene forma cilíndrica y alargada, más estrecho en los extremos.

⁸RAT (Ram Air Turbine): Pequeña turbina conectada a una bomba hidráulica o un generador eléctrico, instalado en una aeronave para generar electricidad. Las turbinas de aire de impacto generan electricidad al girar las aspas por el flujo de aire producido por la propia velocidad de la aeronave. En condiciones normales la turbina de aire de impacto está recogida dentro del fuselaje del aparato, desplegándose en caso de pérdida total de energía.

⁹Firewall: Aísla los motores de otras partes del fuselaje. Sirve de protección.

¹⁰Bird Strike: impacto entre un ave y un avión que está en vuelo o en el despegue o en el aterrizaje.

INTRODUCCIÓN

El avión, pese a ser uno de los medios de transporte más seguros que existen actualmente (un accidente grave por cada 2,4 millones de vuelos) suele acabar en trágicos finales si un accidente sucede. Cabe destacar que la mayoría de los accidentes ocurren durante el despegue y el aterrizaje, lo cual reduce la probabilidad de que haya fallecidos si un accidente tiene lugar. Teniendo en cuenta este inciso, saber que el 20% de los accidentes se saldan con víctimas cobra sentido. Pero intentar reducir este número, por “pequeño” que sea, debe ser una prioridad.

Es totalmente lógico plantearse por qué no instalar algún método de seguridad que permitiera dar más una esperanza prácticamente total de supervivencia en caso de accidente.

Varias son las alternativas técnicas que pueden plantearse. Por ejemplo, un paracaídas por pasajero. Esta solución es inviable por varios factores, como es la falta de entrenamiento de los pasajeros, el peso y espacio extra que supondría (elevando el coste de los billetes y reduciendo el uso del transporte aéreo), la imposibilidad de saltar con éxito desde las salidas de emergencia sin salir malherido con la configuración actual que existe en la flota de aviones, etc. Otra posible solución sería añadir una cápsula que envolviera la cabina y el cockpit del avión, y en caso de pérdida de control ésta se desprendería del resto de los elementos de la aeronave como motores, estabilizadores, etc. y se desplegaría unos paracaídas mientras se activan unos pequeños propulsores que estabilizarían dicha cápsula. Este proyecto pretende ser un estudio detallado del diseño y la posterior viabilidad de implantación de lo que supondría llevar a cabo esta idea.

CAPÍTULO 1. HISTORIA

1.1. Introducción

Antes de plantear el diseño y la posible viabilidad de implantación de un sistema como el que se propone en este proyecto, es necesario estudiar algunos de los sucesos históricos catastróficos en cuanto a accidentes de aviación se refiere. Esto permitirá conocer y contextualizar las circunstancias bajo las cuales sería útil -y lo hubiese sido en estos sucesos pasados- un sistema adicional de seguridad como el propuesto.

A lo largo de la historia, ha habido varias catástrofes aéreas que podrían haber sido evitadas con un correcto mantenimiento de la aeronave, un mejor diseño de sus instrumentos y sistemas o una elección más óptima de los materiales. Pero desafortunadamente existen otras causas, como son el error humano y la toma de decisiones, que no son tan fáciles de gestionar. A continuación, se enumeran algunas de estas catástrofes con un breve resumen de lo ocurrido.

1.2. Accidentes

- **Vuelo 123 de Japan Airlines (1985):**

Durante el ascenso de un Boeing 747 el mamparo de presión trasero¹ falló, perdiendo el estabilizador vertical, despresurizando la cabina, dañando las líneas hidráulicas y desprendiéndose del APU, el cual cayó al mar. El avión entro en modo *fugoide*². Finalmente se estrelló en lo alto del Monte Takamagahara causando 520 fallecidos.

La aeronave estuvo involucrada en un incidente en 1978 (7 años antes de la catástrofe), en el cual el empenaje³ tocó tierra en el momento del aterrizaje. La correspondiente reparación efectuada no cumplió los estándares establecidos por Boeing, y eso redujo su resistencia a la fatiga⁴. 12319 despegues después, la aeronave cedió.



Figura 1. Ruta del Vuelo 123 de Japan Airlines

- **Vuelo 447 de Air France (2009)**

El 1 de junio de 2009 un A330-203 de Air France que volaba de Rio de Janeiro dirección París cayó al océano Atlántico tras pasar por turbulencias que provocaron el congelamiento de los tubos pitot. Esto conllevó que la velocidad indicada del aire no fuera real. Las alarmas saltaron y uno de los pilotos inclinó el morro hacia arriba (erróneamente), reduciendo la velocidad de la aeronave y aumentando el ángulo de ataque, provocando que se entrara en pérdida.



Figura 2. Ruta prevista vuelo 447 Air France

- **RA-11125 de Avis Amur (2011)**

Un Antonov An-12 transportaba 18 toneladas de carga entre 2 aeropuertos de Rusia cuando se detectó una fuga de combustible. En unos instantes se detecta que hay fuego en el motor, momento en el cual el piloto decide volver al aeropuerto de salida. Minutos más tarde el avión se pierde del radar y la señal de un transmisor de localización de emergencia (ELT) se recibió temporalmente en la región. El accidente dejó 11 fallecidos.



Figura 3. Antonov An-12

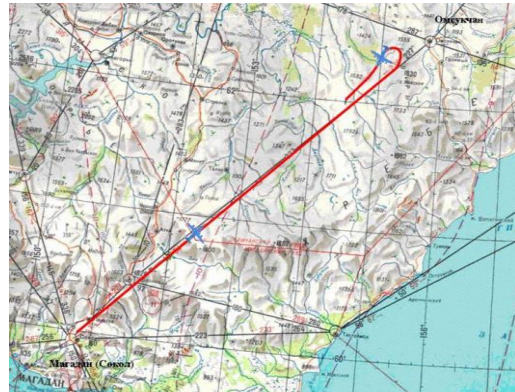


Figura 4. Trayectoria del vuelo RA-11125 de Avis Amur

- **Vuelo 610 de Lion Air (2018)**

El vuelo 610 de la compañía Lion Air despegó el 29 de octubre de 2018 del aeropuerto internacional Soekarno-Hatta en Yakarta hasta dirección al aeropuerto Depati Amir en Pangkal Pinang. El avión se trataba de un Boeing 737 Max 8, el cual se ha visto involucrado en varios accidentes. Trece minutos después del despegue el avión impactó en el mar de Java.

Las causas se deben a un posible defecto de diseño relacionado con el sistema automático de estabilización (MCAS) de la serie 737 MAX. Dicho sistema dispone de un sensor que detecta el ángulo de ataque y en caso de que este sea demasiado pronunciado inclina la aeronave hacia delante para reducirlo y no entrar en pérdida. El sensor recibió datos erróneos y el MCAS hizo su función, inclinando la aeronave hacia abajo, provocando que la aeronave cayera en picado sin poder tomar el control.

La aeronave sufrió cambios inusuales de velocidad y altitud en un vuelo realizado el día anterior, apenas seis horas antes del accidente, además de un retraso de tres horas y problemas en cabina relacionados con la iluminación y el aire acondicionado.

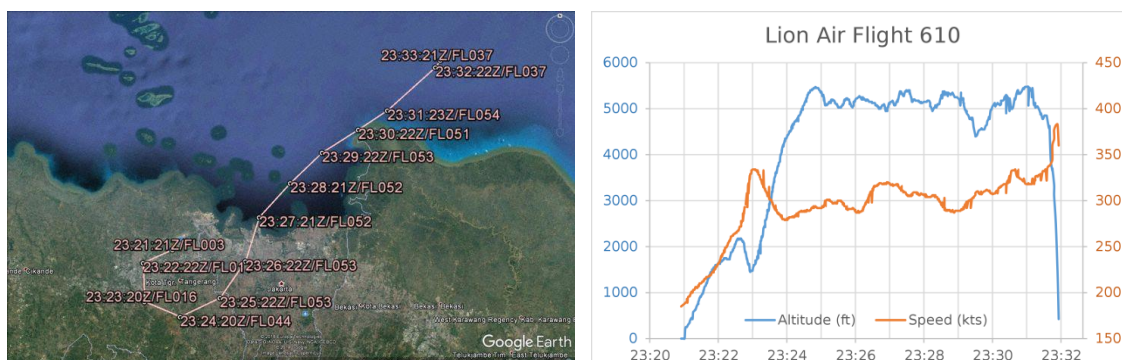


Figura 5. Coordenadas de la trayectoria del vuelo 610 de Lion Air

Figura 6. Altitud-Velocidad del vuelo 610 de Lion Air

- **Vuelo 302 de Ethiopian Airlines**

El 10 de marzo de 2019 el Boeing 737 Max 8 despegaba del Aeropuerto Internacional Bole (Etiopía) al Aeropuerto Internacional Jomo Kenyatta (Kenia). El piloto avisó a la torre de control de que tenía "dificultades". El avión desapareció del radar tras tres minutos en el aire. Según los datos del radar de vuelo, el aparato estaba ascendiendo de manera errática, con una velocidad aerodinámica vertical inestable. Las consecuencias fueron 157 fallecidos.

Las causas del accidente apuntan a ser las mismas que las del Vuelo 610 de Lion Air, la activación del MCAS a causa de un error en la detección del ángulo de ataque, razón por la cual después de este accidente se cancelaron todos los vuelos operados con la serie B737 Max 8.

Estos trágicos accidentes podrían haber tenido mejor desenlace con la cápsula extraíble. El vuelo 123 de Japan Airlines, el 610 de Lion Air y el 447 de Air France sufrieron el fallo de descompresión encima del mar, dejando unas

probabilidades altísimas de supervivencia con el uso de la cápsula. Una vez la cápsula cae flota, y el rescate sería fácil.

Número de vuelo	Fecha	Lugar	Hechos	Causas	Consecuencias
Vuelo 123 de Japan Airlines	12 de agosto de 1985	Monte Takamagahara (Japón)	Fallo mamparo de presión trasero. Avión entro en modo <i>fugoide</i> .	Tailstrike ⁵ 7 años antes de la catástrofe, con una posterior mala reparación	520 fallecidos
Vuelo 447 de Air France	1 de junio de 2009	Océano Atlántico Sur, cerca del Archipiélago de San Pedro y San Pablo	La ruta atravesaba un área de fuertes turbulencias, en la zona de convergencia intertropical. El tubo pitot sufrió congelación, lo cual provocó datos erróneos en la velocidad relativa del aire. El piloto realizó una abrupta e innecesaria solicitud de ascenso con su palanca lateral, entrando en pérdida.	Fallo de tubos pitot y error de los pilotos	228 fallecidos
RA-11125 de Avis Amur	9 de agosto de 2011	Noreste de Magadan (Rusia)	Fuga de combustible, fuego en motor y posterior pérdida de contacto radar	Pérdida de control tras incendio de motor	11 fallecidos
Vuelo 610 de Lion Air	29 de octubre de 2018	Mar de Java (Indonesia)	13 minutos después del despegue el avión empezó a perder altura drásticamente	Fallo en el sensor del ángulo de ataque a causa del Sistema de aumento de las características de maniobra (MCAS)	157 fallecidos
Vuelo 302 de Ethiopian Airlines	10 de marzo de 2019	Bishoftu (Etiopía)	Según los datos del radar de vuelo, el aparato estaba ascendiendo de manera errática, con una velocidad aerodinámica vertical inestable	Activación del MCAS a causa de una errónea detección del ángulo de ataque causando que el estabilizador alcanzara una posición que no se pudo compensar con los elevadores	157 fallecidos

Tabla 1. Tabla resumen de accidentes aéreos ocurridos

CAPÍTULO 2. FUNCIONALIDAD Y DISEÑO

2.1. Introducción

Existen posibles circunstancias para la necesidad de uso de la cápsula:

- Pérdida de control total de la aeronave.
- Comandante y Primer Oficial no estén capacitados para continuar el vuelo (desmayo, contaminación, etc) y continuar con Autopilot y Autoland no sea una opción viable.
- Elementos de la aeronave dejen de funcionar correctamente ya sea por fallo en los sistemas hidráulicos o eléctricos provocando un bloqueo total o parcial en las superficies de control y haciendo imposible continuar el vuelo con seguridad.
- Despresurización explosiva en áreas remotas con imposibilidad de llegar a ningún aeropuerto alternativo.
- Fallo de dos motores en áreas remotas con imposibilidad de llegar a ningún aeropuerto alternativo.

Motivos que pueden provocar la pérdida de control de la aeronave y posterior necesidad del uso de la cápsula:

- Fallo de indicadores, instrumentos o sensores que provoquen la realización de maniobras erróneas y que conlleven la entrada en pérdida de la aeronave.

Debe quedar muy claro que usar la cápsula debe ser la última opción a elegir. Activar este método de salvamento supondría peligro para el lugar donde se llevará a cabo (al caer al vacío todos los elementos que forman la aeronave) y una grandísima pérdida de dinero.

2.2. Modo de funcionamiento

Al activarse, el modo de funcionamiento sería el siguiente:

1. Desprendimiento de los motores. Así se permite seguir planeando y dirigiendo al avión hacia una zona segura si se permite.
2. Desprendimiento de las alas y de las superficies de control.
3. Desprendimiento del fuselaje que rodea la cápsula y de las bodegas, aligerando peso.
4. Sistema de propulsión de la cápsula debe dar potencia a los 4 propulsores, calculando cuánta potencia necesita cada uno para que la cápsula quede horizontal. Es necesario tener 4, aunque sean de dimensiones pequeñas para evitar la torsión de la cápsula (ver Anexo).
5. Una vez el sistema sea suficientemente estable (la inclinación de la cápsula no debe ser superior a los 10° aproximadamente) los propulsores dan potencia para reducir la velocidad de caída.
6. En el momento en el que la cápsula esté descendiendo a una velocidad que permita la apertura de los paracaídas sin que sufran daños, los

propulsores dejan de dar potencia a la vez que se abren estos. La cápsula debe caer a una velocidad que permita que esta absorba la energía cinética durante el contacto con el suelo sin sufrir demasiados daños. Se calculará en función de las G's máximas que la cápsula pueda soportar.

7. Los propulsores se desprenden el último tramo, cuando esté asegurado el lugar de caída. Así se reduce la posibilidad de explosión de los propulsores al chocar con el suelo pudiendo causar fuego en el interior de la cápsula.

La coordinación entre la cápsula y el GPS es vital. Dependiendo en qué zonas se encuentre la aeronave no se debe poder activar el desprendimiento de elementos (alas, motores, estabilizadores...) ya que supondría un peligro que no se podría permitir si estos elementos cayeran en una ciudad poblada, en zonas montañosas o con demasiada inclinación. Si la cápsula se activara en una zona prohibida, se debe optimizar la ruta en dirección a la zona más próxima permitida y la aeronave debe ir a esa dirección automáticamente (siempre que los controles lo permitan mínimamente).

En este proceso se debe tener en cuenta la velocidad y dirección que llevaba la aeronave y la deriva del viento que pueda sufrir durante el recorrido hacia la zona segura. Una vez se llegue a dicha zona se llevaría a cabo el desprendimiento de elementos y la activación de los elementos de salvamento de la cápsula (paracaídas y propulsores).

Un tren de aterrizaje debe ser capaz de absorber la energía cinética, equivalente a la caída libre del peso del avión desde 80 cm de altura.

$$X = X_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$V = V_0 + a \cdot t$$

La aceleración durante la caída será la gravedad, la cual en la Tierra es de 9,8 m/s². Por lo tanto:

$$0 = 0.8 \text{ m} + 0 \cdot T + 0.5 \cdot \left(-9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot T^2$$

$$T^2 = \frac{-0.8 \text{ m}}{0.5 \cdot \left(-9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.163265 \text{ s}^2$$

$$T = \sqrt{0.163265} = 0.404 \text{ s}$$

$$V = 0 + 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.404 \text{ s} \approx 4 \text{ m/s}$$

Una aeronave entonces puede soportar su peso cayendo a 4 m/s sin sufrir ningún tipo de daño. La cápsula, la cual no dispondrá de tren de aterrizaje, debe ser capaz de absorber una energía cinética similar sin quebrarse.

El sistema debe buscar una zona donde la inclinación no sea superior a 5° aproximadamente, para evitar que el choque al caer ambos lados de la cápsula no sea demasiado fuerte.

Será importante tener en cuenta:

- El TOW (Take Off Weight) y el LW (Landing Weight) se verán incrementados por el peso que supone el paracaídas, los propulsores, el combustible de estos, etc.
- Debe haber un pequeño depósito interno de combustible para los propulsores. El suministro de combustible no puede provenir de los depósitos principales, así se amplía el rango de posibles catástrofes aceptables manteniendo unos niveles de seguridad.
- Todos los sistemas internos del avión deben tener una única fuente de comunicación con los sistemas externos (que estarán fuera de la cápsula). Eso facilitará la separación de la cápsula con el fuselaje, motores y superficies de control.
- Debe haber una apertura arriba para el rescate, en el caso de que cayera al océano/mar. Como esta opción es muy probable dada la proporción tierra-agua de la cual disponemos en la Tierra también debería plantearse que la cápsula dotara de flotadores autoinflables. También existen aperturas donde las puertas del avión y donde las salidas de emergencia.

2.3. Elementos del sistema

- 2 paracaídas, uno a cada extremo de la cápsula. Estos no deben abrirse hasta que la velocidad de caída no sea suficientemente pequeña para que los paracaídas no sufran daños al activarse.
- 4 propulsores, situados en la parte inferior y dos en cada extremo de la cápsula. Deben ser lo más pequeños posibles para no perjudicar demasiado en la aerodinámica de la aeronave, pero deben tener potencia suficiente para estabilizar y reducir la velocidad de la cápsula.

Para minimizar pérdida de aeronavegabilidad estos elementos estarán ocultos en el interior de la cápsula y cuando se les vaya a dar uso saldrán al exterior (uso parecido al de la RAT⁸). Los compartimentos donde se guarden los propulsores hacen de *firewall*⁹.

2.4. Paracaídas

La caída de un objeto con paracaídas sigue un movimiento acelerado hasta que el paracaídas se despliega, entonces se frena hasta que no puede más y cae a velocidad constante (velocidad límite). Se considera una caída totalmente vertical. Los paracaídas están diseñados para reducir la velocidad terminal en aproximadamente un 90%. Un objeto que cae con la ayuda de un paracaídas está sometido a la acción de su peso y de una fuerza de rozamiento aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad. En el caso de que el sistema no dispusiera de propulsores, los cálculos serían:

$$ma = -mg + kv^2$$

La constante de proporcionalidad $k = \frac{\rho A \delta}{2}$

- ρ es la densidad del aire. Aunque la densidad del aire varía con la altura, en este cálculo aproximado se utilizará su valor al nivel del mar de 1.29 kg/m^3 . Para más precisión se debería integrar la ecuación en función de la altura o presión.
- A es el área de la sección transversal frontal expuesta al aire (paracaídas)
- δ es un coeficiente que depende de la forma del objeto (coeficiente de arrastre, de drag).

La caída se debería estudiar utilizando 2 constantes de proporcionalidad. K_1 es la constante de proporcionalidad antes de abrir el paracaídas y k_2 la constante con el paracaídas abierto. Como el tiempo que la cápsula estará cayendo sin paracaídas será muy reducida, solo se analizará el tramo con el paracaídas abierto (es decir, con la constante k_2). En este tramo el coeficiente de drag δ será el del paracaídas.

Cuando se abre el paracaídas se reduce bruscamente su velocidad hasta alcanzar una velocidad límite constante v_l , que se obtiene cuando el peso es igual a la fuerza de rozamiento, es decir, cuando la aceleración es cero.

$$-mg + k_2 v^2 = 0$$

El valor de la velocidad límite es independiente de la velocidad inicial del objeto en el momento de abrir el paracaídas.

$$V_l = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k_2}}$$

El coeficiente de drag de un paracaídas es de aproximadamente:

$$\delta_{\text{paracaídas}} = 1,75$$

La constante de proporcionalidad k se puede expresar como:

$$K_2 = \frac{\rho A \delta}{2} = \frac{1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot A \cdot 1,75}{2} = 1,12875 \cdot A$$

El peso aproximado de la cápsula en el caso del A320 es de:

Pasajeros: $180 \text{ pax} \cdot 84 \text{ kg} = 15120 \text{ kg}$ (Peso más restrictivo, con el avión completo). El peso de las maletas no se tiene en cuenta ya que las bodegas no formarán parte de la cápsula. Los 84kg ya contienen el equipaje de mano por persona.

El peso básico vacío (OEW) es el peso vacío de fabricación más los conjuntos estándar del avión: el combustible no utilizable, aceite del motor, peso estructural de lavabos y líquidos afines (agua, productos químicos...), de cocinas, asientos de pasajeros y otras variaciones que pueda introducir el operador.

En el caso de Airbus (mirar Weight and Balance Manual A319/A320/A321) el OEW está formado por:

- El peso vacío del fabricante derivado del pesaje de la aeronave.
- Documentos y kits de herramientas.
- Agua potable.
- Catering y equipamiento extraíble.
- Tripulación de vuelo y su equipaje de mano.
- Combustible inutilizable
- Aceite para motores, IDG y APU
- Asientos de pasajeros
- Chalecos salvavidas para pasajeros
- Equipo de emergencia

La cápsula contiene los elementos menos pesados que se incluyen en el OEW puesto que el peso vacío de la aeronave se desprenderá en su mayoría. Para hacer un cálculo aproximado se tendrá en cuenta el 15% del peso del OEW y se le sumará el peso del material que forma la cápsula (plástico reforzado con fibra de carbono).

El OEW del A320 es de 42100 kg.

El 15% de 42100kg son 6315 kg.

A esta masa se le debe sumar el peso del pasaje y de la cápsula. La masa de la cápsula es de aproximadamente 18480 kg (ver capítulo 5).

$$P = m \cdot g = (15120 \text{ kg} + 6315 \text{ kg} + 18480 \text{ kg}) \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 391167 \text{ N}$$

$$V_l = \sqrt{\frac{P}{k}} = \sqrt{\frac{391167 \text{ N}}{1,12875 \cdot A}} = 4 \text{ m/s}$$

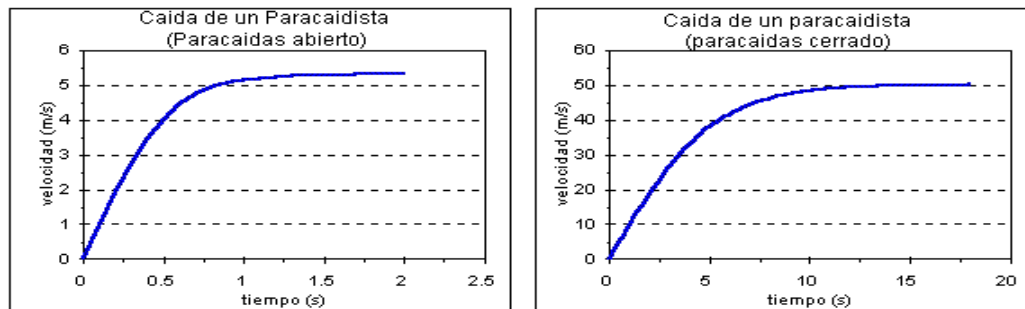
La cápsula debe soportar una velocidad de choque de unos 4 m/s, por lo que el área del paracaídas debe ser aproximadamente de:

$$A = \frac{391167}{4^2 \cdot 1,12875} = 21659,3 \text{ m}^2$$

Puesto que se dispondrá de 2 paracaídas y que se suponen redondos, cada uno debería tener un radio de 58,7m. Este valor no es realista, ya que los 4 propulsores reducirán la fuerza necesaria para que la caída sea segura. Si el

estudio se llevará adelante habría que hacer un análisis viendo la relación fuerza-peso necesaria para que se pudieran llevar unos paracaídas de unas medidas mínimamente asequibles, que no supusieran un peso adicional muy grande. Se debería hacer un balance con los propulsores y ver cuanta potencia dará cada uno y durante cuánto tiempo.

En el capítulo 3 se pueden ver las medidas que tiene la cápsula en el caso del A320. Con 2 paracaídas de 58,7m de radio uno interferirá con el otro. Se debería establecer un margen de seguridad de cierta distancia entre paracaídas una vez abiertos completamente.



Con el paracaídas abierto en 2 s se alcanza la velocidad límite, mientras que con el paracaídas cerrado se necesitan unos 15 s.

Figura 7. Velocidad de caída según uso según el uso del paracaídas

A través de un simulador existente online (Ver link en Bibliografía) se puede estimar el tamaño que necesitará un paracaídas en función de varios parámetros a introducir como velocidad límite deseada, peso que debe soportar el paracaídas, la resistencia que produce, etc.

El Payload Area se basa en una estimación del área de la base de la cápsula, la cual es de aproximadamente 139 m² (Ver capítulo 5).

El peso que se tiene cuenta es el de la cápsula con pasaje: 39915 kg.

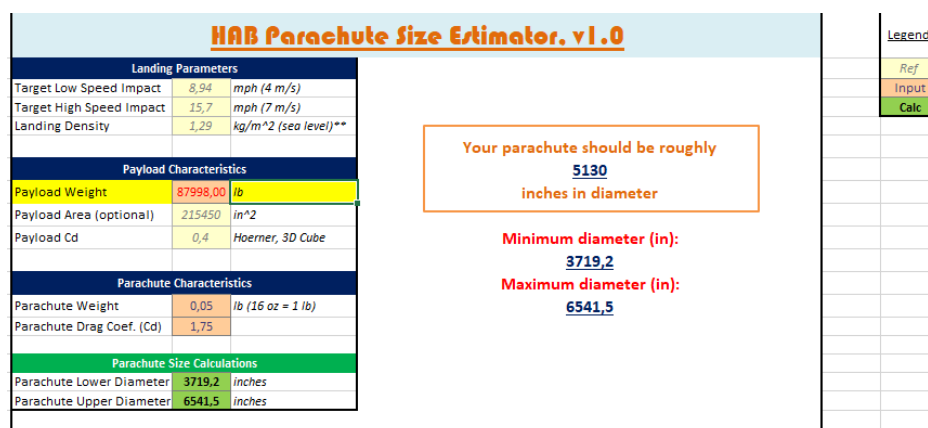


Figura 8. Herramienta de estimación del área del paracaídas

El simulador ofrece un diámetro de paracaídas de un rango de valores de entre 94 m y 166m (radio de 47 y 83 m). Si solo se usará un paracaídas en nuestro

sistema, según los cálculos se hubiera obtenido un radio de 83 m. Los resultados obtenidos están dentro del rango calculado por el simulador.

2.5. Propulsores

Los propulsores deben tener algún método para calcular su altitud exacta (a través de un barómetro aneroide⁶). No es tan importante a qué altura se encuentran respecto el terreno sino qué diferencia de altura tiene cada propulsor respecto el otro. El objetivo es dar potencia al propulsor que se encuentre menos elevado e intentar igualarlos. El sistema debe funcionar como un dron. Usando polos y ceros el barómetro debe indicar la misma altitud en ambos propulsores.

El centro de gravedad de la cápsula no tiene por qué estar situado en el centro de la cápsula, ya que dependerá del pasaje que haya y de donde estén sentados. Por ello antes de empezar el vuelo, se debe poner como input la configuración de asientos y distribución de pasajeros. El centro de gravedad que tenga la aeronave al empezar el vuelo no será el mismo que el de la cápsula, ya que esta no dispone de elementos como alas y motores (que lo desplazan hacia delante). Por ello, antes de despegar se deben tener en cuenta los 2 centros de gravedad en la Hoja de Carga, y el de la cápsula debe introducirse en el sistema informático o MCDU (Multipurpose Control Display Unit), que posteriormente controle los propulsores.

CAPÍTULO 3. DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES

Este sistema de seguridad podrá implementarse en cualquier aeronave comercial, teniendo en cuenta que cuanto más grande sea esta más peso tendrá la cápsula, por muy ligero que sea el material que la forma.

Para coger algunas referencias, haremos el diseño para un A320-200 y un B747-200B, con la respectiva diferencia de tamaño y peso que supone.

Especificaciones técnicas Airbus A320-200	
Asientos	180
Velocidades	270 km/h al despegue 840 km/h en crucero 220km/h al aterrizaje
Techo de vuelo	11,918 km
Rango	6.650 km
Capacidad de Combustible	27200 l
Carga útil (Payload)	16600 kg
Longitud	37,57 m
Altura	11,76 m
Ancho de la Cabina	3,70 m
Envergadura	35,8 m
Peso máximo sin fuel (MZFW)	62.500 kg
Peso máximo al despegue (MTOW)	78.000 kg
Peso máximo al aterrizaje (MLW)	66.000 kg
Peso vacío (OEW)	42.100 kg
Consumo	2.600 kg/h
Longitud de pista de despegue necesaria	2.090 m
Longitud de pista de aterrizaje necesaria	1.530 m

Tabla 2. Especificaciones técnicas Airbus A320-200

A MZFW el rango es de 6.100 km.

Especificaciones técnicas Boeing B747-200B	
Asientos	490
Velocidades	910 km/h en crucero
Techo de vuelo	13,780 km
Rango	12.400 km
Capacidad de Combustible	199158 l
Carga útil (Payload)	67.360 kg
Longitud	68,6 m
Altura	19,6 m
Ancho de la Cabina	6,1 m
Envergadura	59,6 m
Peso máximo sin fuel (MZFW)	238.800 kg
Peso máximo al despegue (MTOW)	378.200 kg

Peso máximo al aterrizaje (MLW)	286.000 kg
Peso vacío (OEW)	171.460 kg
Consumo	14.500 kg/h
Longitud de pista de despegue necesaria	3190 m
Longitud de pista de aterrizaje necesaria	1890 m

Tabla 3. Especificaciones técnicas Boeing B747-200B

A MZFW el rango es de 10660 km.

Payload = MZFW-OEW

Para el caso del A320, las medidas de la cápsula serán aproximadamente las mismas que las de la cabina, 37,57 x 3,70 x 11,76 m (Largo x Ancho x Altura). Al existir la cápsula, las medidas de la cabina se verán incrementadas unos centímetros, dependiendo del grosor de la cápsula.

Para el caso del B747, las medidas de la cápsula serán aproximadamente 68,60 x 6,10 x 19,6 m (Largo x Ancho x Altura).

La cápsula tendrá aproximadamente la misma forma aerodinámica que el avión en el cual vaya a ser usado. La punta pequeña y puntiaguda, para cortar el aire y mejorar la sustentación sin reducir velocidad. El cuerpo alargado, y según se avance hacia el final se hace más estrecho. Tendrá una sección elíptica, y de forma ahusada⁷. De este modo la aerodinámica de la aeronave no se verá afectada, solo incrementará el peso total de ella.

Como la cápsula será independiente del fuselaje y las bodegas también se desprenderán, la parte inferior de la cápsula podría ser plana, así se consigue mayor coeficiente de resistencia en la caída.

El grosor de la cápsula debe ser suficiente para garantizar la seguridad de los pasajeros durante la caída y durante el contacto con el suelo. Se asumirá que cuando se haga el desprendimiento de elementos la cápsula estará a una altura razonable, por lo que la presurización no será un detalle a tener en cuenta. Por ello lo más importante es reforzar la parte inferior de la cápsula para asegurar una caída segura.

Si la aeronave entra en pérdida, la redirección hacia una zona con terreno estable (sin cambios bruscos de altura) se hace casi imposible. En estos casos el uso de la cápsula sería simplemente reducir el impacto de la aeronave contra el suelo.

El A320 consume una media de 2600 kg/h. El peso que debe soportar y las velocidades a las que alcanza el avión hacen que este consumo sea tan elevado. Los propulsores deberán soportar un peso bastante menor (sin motores, superficies de control, bodegas...) y su misión únicamente es compensar ese peso. No requiere altas velocidades. Poner referencia de ese consumo medio del 320

Para el uso requerido, el motor más adecuado es el motor cohete. Las ventajas que este motor proporciona son las siguientes:

- Es el motor más fiable en cuanto a fallos mecánicos.
- Es el motor más potente en relación a su peso.
- No tiene partes móviles, lo que lo hace muy resistente.
- No requiere lubricación ni enfriamiento.
- Su reacción es instantánea.
- No pierde potencia con el uso.
- Es el más sencillo de los motores en su funcionamiento.

Pese a desventajas como altos niveles de ruido y alto consumo, estos motores son los más adecuados para el sistema.

Si se utilizarán motores turbofan como el del A320, y suponiendo que el peso de la cápsula será un 40% del peso total de la aeronave, los motores consumirían aproximadamente 1040 kg/h. En el caso de los 4 propulsores, el consumo sería bastante mayor al ser motores cohete. Teniendo en cuenta que los propulsores deben ser pequeños para que no se vea afectada la aerodinámica de la aeronave y que estos se usarán durante un corto periodo de tiempo (el suficiente para frenar la caída y dar paso a los paracaídas), el depósito interno debe poder albergar poco más de 30kg de combustible, los cuales serán distribuidos a los 4 propulsores. Se supone un uso de los propulsores de menos de 1 minuto.

En el caso del B747, el depósito será mayor. Esta aeronave consume unos 9500 kg/h. Haciendo una estimación como en el caso anterior, el depósito interno debe poder albergar unos 50kg (la proporción de cantidad que debe haber no incrementa de manera constante ya que en este caso el avión se desprenderá de 4 motores y el peso se reducirá más en comparativa al A320).

CAPÍTULO 4. MATERIALES

Se hará un estudio con las características de varios materiales y las propiedades que aportan, y se elegirá el más apropiado.

Se debe cumplir con los requisitos técnicos de cargas y esfuerzos a soportar, sin perder características aerodinámicas. El incremento de peso en aviación supone un incremento de coste exponencial, por lo que una baja densidad será fundamental. También se debe facilitar la producción e intentar que sea lo más económica posible.

- El **titanio** es menos denso que el acero, pero más denso que el aluminio. Se comporta bien ante la corrosión y soporta bien las altas temperaturas. Por el contra, sus propiedades se degradan en ambientes salinos y es muy caro de producir. Gracias a su alta proporción de tensión de ruptura por su densidad, alta resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga y la capacidad de soportar temperaturas moderadamente altas sin deformarse, las aleaciones de titanio habitualmente son empleadas en aeronaves, armadura de vehículos, barcos, naves espaciales y misiles. Para estas aplicaciones se emplean aleaciones de titanio con aluminio, circonio, níquel y vanadio, entre otros elementos.
- El **aluminio** es de los materiales menos densos, aun siendo más denso que la Fibra de Carbono. Tiene buenas propiedades ópticas y una alta reflexión de radiaciones luminosas y térmicas. Es abundante en la naturaleza, lo cual facilita su producción y coste. Es resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar. Su producción metalúrgica a partir de minerales es muy costosa y requiere gran cantidad de energía eléctrica.
- El **acero** tiene buenas cualidades respecto a resistencia (3 veces más resistente que el aluminio), pero una densidad excesiva (3 veces la densidad de las aleaciones de aluminio, y hasta 10 veces la de la madera) y tiene graves problemas de corrosión. Hay que evitar que en su uso entre en contacto con aleaciones de aluminio. Al entrar en contacto con el aluminio el acero se corroe, por lo que este material queda descartado, ya que en una aeronave predomina el aluminio sobre otros materiales.
- Los **polímeros plásticos** tienen un muy bajo peso y una gran resistencia. Son fáciles de trabajar y moldear, tienen un bajo coste de producción, suelen ser impermeables, son muy buenos aislantes eléctricos y térmicos, aunque no resisten temperaturas muy elevadas. Son resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.



Figura 9. Criterios de selección materiales

En la imagen anterior aparece un ranking de materiales dependiendo de lo que se quiera priorizar. Si se quiere priorizar el coste, el acero es la mejor opción, seguida de níquel y por último titanio. Si se quiere priorizar la velocidad de producción el acero es el más adecuado, seguido de níquel y de titanio. Si se quiere reducir peso, el níquel es la mejor opción, seguida de acero y de titanio. Y, por último, si se quiere abarcar un amplio rango de temperaturas, el titanio es la mejor opción, seguido de acero y por último níquel.

El material debe ser poco pesado, ya que si se usa un elemento de alta densidad se incrementará demasiado el consumo y eso puede provocar que la aplicación de este sistema de seguridad no sea empleada por ninguna aerolínea.

Por otro lado, tenemos los materiales compuestos (*composites*), los cuales agregan mejores propiedades y son muy usados en la aviación.

Las ventajas de los composites sobre los materiales convencionales son:

- Alta resistencia y rigidez en relación con el peso
- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia a la fatiga
- Resistencia a la corrosión mejorada
- Buena conductividad térmica
- Bajo coeficiente de dilatación térmica
- Alta capacidad de amortiguación
- Las estructuras tienen una mejor estabilidad dimensional sobre un amplio rango de temperaturas

La matriz/base del composite no se ocupa de soportar las cargas, sino de:

- Aglutinar: dar cohesión al conjunto, convertir el conjunto en un material monolítico.
- Mantener cada fibra en su sitio, evitando el pandeo (*buckling*).

- Distribuir tensiones y repartir la carga: el mecanismo básico de deformación en composites es la transferencia de carga de matriz al refuerzo: cuanto mejor sea la adhesión entre ambos, mejor es la transferencia de carga y las propiedades mecánicas del composite.
- Homogenizar deformaciones.

Algunos ejemplos de elementos aeronáuticos creados a través de materiales compuestos son: Timones de profundidad, elevadores, rodamientos, compuertas del tren de aterrizaje, paneles, pavimientos, etc.

Algunos materiales compuestos son:

- **Fibra de Carbono:** Es un material compuesto por fibras de 5 a 10 μm . de diámetro y compuesto principalmente de átomos de carbono. Su resistencia es casi 3 veces superior a la del acero, y su densidad es 4,5 veces menor. Tiene menor densidad que la fibra de vidrio, aunque es relativamente más cara. Cuando se combina con una resina plástica y se enrolla o moldea, forma un polímero reforzado con fibra de carbono que tiene una relación resistencia-peso muy alta y es extremadamente rígido, aunque algo frágil. El carbono solo no se puede utilizar porque es un material cerámico. Los cerámicos no se pueden utilizar en aplicaciones estructurales porque no son dúctiles, son frágiles, y tienen muy baja tenacidad a fractura, resistencia a fatiga, y resistencia a propagación de grietas. Individualmente, cada fibra sólo puede soportar cargas a tracción, pero las fibras apiladas sin ligamento no tienen capacidad estructural ya que no pueden responder bien a cargas en cualquier dirección, como compresión (romperían fácilmente por pandeo *-buckling-* por ser muy esbeltas) y flexión. Por todo ello las fibras de Carbono sólo se pueden utilizar en aplicaciones estructurales como parte de un material compuesto, donde harían el papel de reforzamiento, encargadas de soportar las cargas, pero donde toma también mucha relevancia el papel de la matriz del composite.

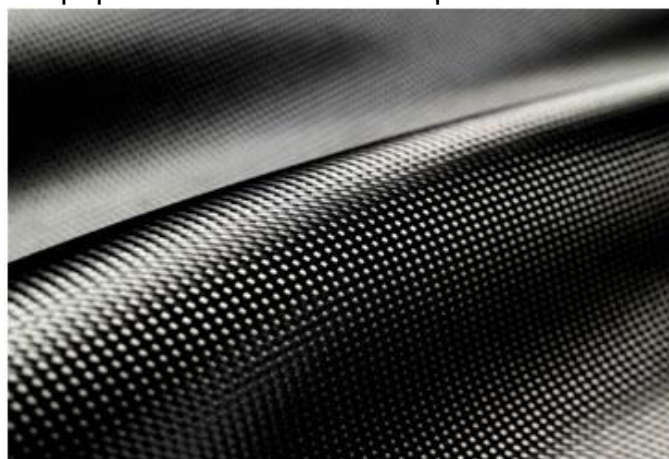


Figura 10. Fibra de Carbono

- **Fibra de Vidrio:** Es un tipo de plástico reforzado con fibra de vidrio. Esta puede estar dispuesta al azar, pero comúnmente se teje en una estera. La matriz plástica puede ser un plástico termoestable, la mayoría de las

veces epoxi, resina de poliéster o *viniléster*, o un termoplástico. La fibra de vidrio es un material ligero y resistente y aunque no es tan fuerte y rígido como los composites de fibra de carbono es menos quebradizo y mucho más barato.

Vistas las propiedades de cada material, la mejor opción podría ser **el polímero reforzado con fibra de carbono ultraligera y super-resistente**. Aunque el plástico no tenga tanta resistencia a altas temperaturas como otros materiales, su reducida densidad y el refuerzo de fibra de carbono que se le aplicará hará que el material sea el adecuado para el uso requerido.

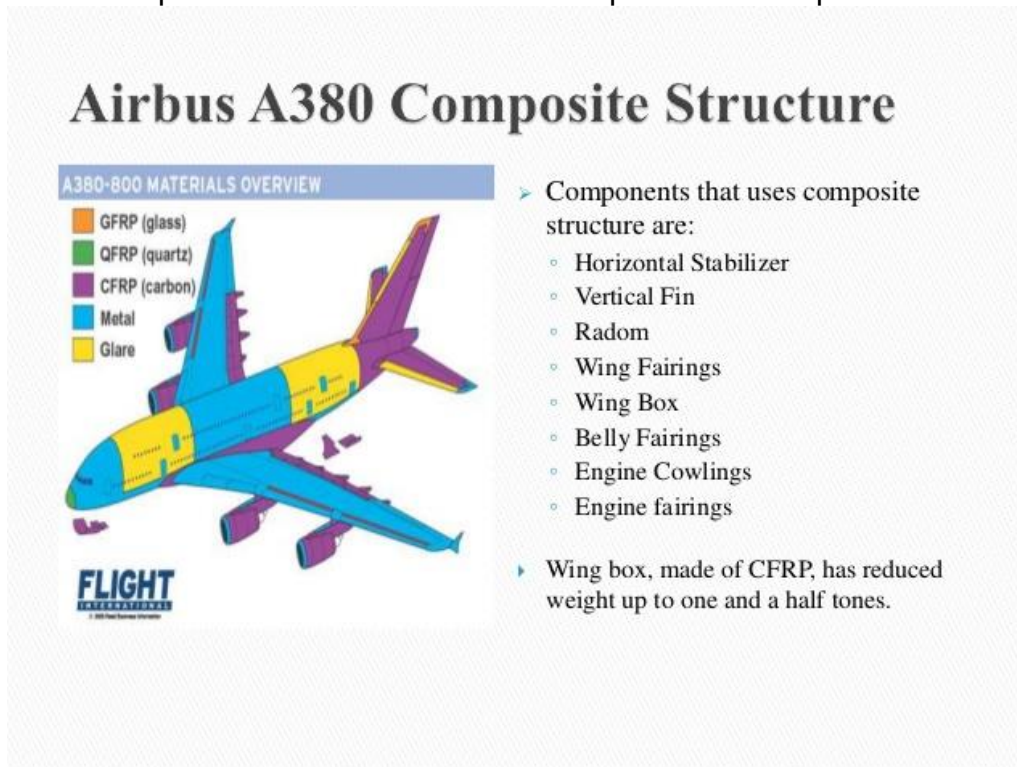


Figura 11. Materiales que forman la estructura del Airbus A380

Como se ve en la imagen superior el plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) ya es muy usado en aviación. Superficies de control y motores están formados con este material en el caso del Airbus A380.

MATERIAL	Densidad (kg/m ³)	Resistencia mecánica (MPa)	Módulo Elástico (GPa)
Fibra de Carbono	1750	<i>Depende del material base a reforzar</i>	
Fibra de vidrio	2580		
Níquel	8908	345-1200	190-220
Aluminio	2700	290-365	81-100
Acero	7850	460-1200	200-215
Titanio	4506	300-1625	90-120
CFPR	1550	550-1050	69-150

Tabla 4. Propiedades características de los materiales usados en aviación

El material empleado debe ser ignífugo, para evitar posibles combustiones en los propulsores que podrían conllevar la propagación de fuego en la cabina. Dada la dificultad de encontrar ignifugidad en los materiales que presentan propiedades que serán necesarias para la cápsula (baja densidad, resistencia mecánica, etc) este problema se solventará aplicando pintura intumescente cubriendo la cápsula. Esta pintura se dilata y se hincha al estar expuesta al calor del fuego creando una barrera aislante con burbujas de gas.

CAPÍTULO 5. COSTE

El precio de un quilo de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) es de aproximadamente 20€/kg. Tiene una densidad de 1760 kg/m³.

En el caso del A320 el área transversal se podría calcular haciendo la simplificación de 1 base rectangular y medio cilindro para la parte superior (ver anexo). Con 5 cm de grosor en la base de la cápsula y 3 cm en la parte superior ya se asegura el confort y seguridad mínimo.

$$\text{Área base} = 37,57 \text{ m} \cdot 3,70 \text{ m} = 139 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen base} = 139 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m} = 6,95 \text{ m}^3$$

Para los cálculos del material necesario para la parte superior, se calcularán 2 cilindros, uno que representa el interior de la cápsula (donde no nos interesa poner CFRP), y un cilindro con 3 cm más de grosor. El ancho de la cápsula es de 3,70 m, por lo que el radio mayor R será 3,70/2. Como el refuerzo de material está por ambas partes del cilindro, el radio menor r será $\frac{3,70 - 2 \cdot 0,03}{2}$.

La resta de estos 2 volúmenes divididos entre 2 (solo se necesita medio cilindro de cápsula) indicará el volumen de CFRP que se necesitará.

$$\text{Volumen}_{\text{superior}} = \pi \cdot (R - r) \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3,70 - 3,64}{2} \right) \cdot 37,57 = 3,53 \text{ m}^3$$

El volumen de CFRP será de 10,5 m³.

La masa del material que forma la cápsula será de:

$$M = 1760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10,5 \text{ m}^3 = 18480 \text{ kg}$$

Sabiendo la masa necesaria, el coste teórico de la cápsula diseñada con CFRP será de **369.600€**.

La mano de obra no se puede calcular ya que el proyecto está pensado para implementar la medida en fábrica, en el proceso de fabricación de la aeronave. El precio de la mano de obra y el tiempo de fabricación se verán incrementados.

CAPÍTULO 6. SEGURIDAD

La mayoría de los incidentes que suceden en aviación se solucionan sin un final trágico. Con la cantidad de aeropuertos alternativos que existen, y la buena gestión que se tiene del control aéreo, las emergencias se solventan sin heridos en general.

La finalidad de este método de salvamento es reducir la probabilidad de que haya heridos al 0%, sea cual sea el incidente. Como todo sistema, existe la probabilidad de fallo. Puede haber fallos mecánicos o humanos que conlleven a un incidente. La solución podría ser el error. Ejemplos: explosión en los motores de los propulsores, apertura accidental del paracaídas, etc.

El combustible de los propulsores debe ser reemplazado periódicamente ya que por norma general no se usará. El mantenimiento de estos sistemas debe hacerse periódicamente, pese a que el tiempo de revisión se verá incrementado drásticamente, por la dificultad que supone acceder a los sistemas de la cápsula.

A continuación, se estudian los riesgos que podría conllevar este sistema en una SRA (Safety Risk Assessment). Siguiendo el diagrama “Bow-Tie” se analizará el evento que se quiere evitar que ocurra, junto a las medidas y barreras de seguridad que se vayan a realizar, y en el caso de que el incidente ocurriera, las medidas que se lleven a cabo para mitigarlo y la severidad de las consecuencias.

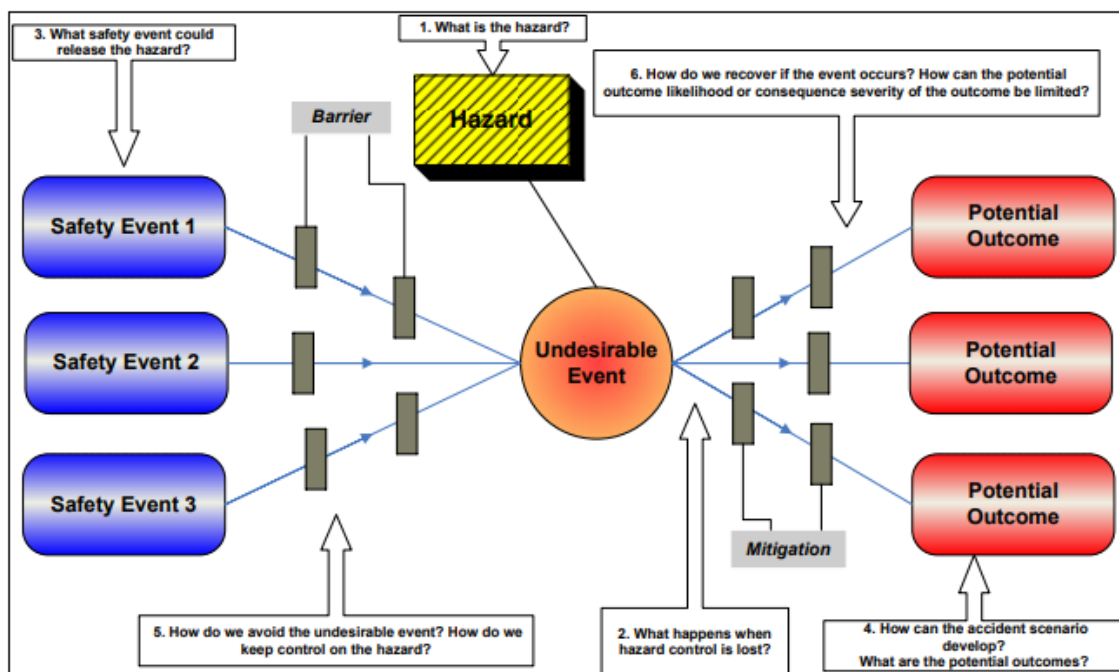


Figura 12. Explicación del Diagrama “Bow-Tie”

Peligro 1: Caída de cápsula sobre propulsores inflamables				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Activar el paracaídas rápidamente para que el tiempo entre desprendimiento o de propulsores y apertura de paracaídas sea reducido, provocando que el viento tenga más posibilidad de mover horizontalmente la cápsula.	Con 0 kt de viento transversal, al desprenderse de los propulsores, la cápsula caiga encima de ellos.	Apertura de los depósitos de combustible de los propulsores mientras estos están cayendo	Explosión de los propulsores cuando la cápsula está encima de ellos	Múltiples muertes
Posibilidad de existencia de un quinto propulsor en el morro o la cola de la cápsula para que impulse horizontalmente la cápsula para evitar el evento.		Poner recubrimiento de pintura intumescente (efecto ignífugo) en el exterior de la cápsula	Combustible cause fuego que se propague en el interior de la cápsula	Quemaduras e incluso muertes

Tabla 5. Peligro 1: Caída de cápsula sobre propulsores inflamables

Peligro 2: Apertura paracaídas				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Periódicas inspecciones al sistema de paracaídas.	Apertura del paracaídas en vuelo, cuando el uso de la cápsula no sea necesario	Rápido sistema de detección de esta incidencia que conlleve el desprendimiento total del paracaídas a la aeronave en el caso de su apertura inesperada.	Pérdida total de sustentación, entrada en pérdida de la aeronave	Múltiples muertes
Sistema de seguridad que requiera que todos los elementos externos de la cápsula se hayan desprendido de la aeronave para que la activación del paracaídas sea posible.		Desprendimiento de elementos externos (superficies de control, motores, etc) y posterior activación del sistema de salvamento, aunque su uso no haya sido necesario.	Destrucción innecesaria de la aeronave	Posibles muertes y millones de euros

Tabla 6. Peligro 2: Apertura paracaídas

Peligro 3: Activación de la cápsula en un área de desnivel				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Programar las rutas evitando sobrepasar zonas con un área de desnivel donde el uso de la cápsula sea imposible	Debido a algún fallo de la aeronave se deba usar la cápsula y se esté sobrevolando un área montañosa con un desnivel demasiado grande.	Se podría usar el sistema para reducir el impacto.	Destrucción de la aeronave, fuerte choque.	Fallecimiento de los pasajeros

Tabla 7. Peligro 3: Activación de la cápsula en un área de desnivel

Peligro 4: Activación inintencionada del sistema				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Buen entrenamiento de la tripulación	Cualquier miembro de la tripulación active involuntariamente el sistema	Se proceda a buscar un área con poco desnivel para reducir daños	Destrucción innecesaria de la aeronave	Posibles muertes y millones de euros
Necesidad de confirmación por parte de Control Aéreo (ATC) para la activación del sistema				

Tabla 8. Peligro 4: Activación inintencionada del sistema

Peligro 5: Problemas de masa y centrado				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Control meticuloso previo al vuelo del peso y centrado de la aeronave y de la cápsula, tanto por parte de la tripulación como por parte de los agentes de <i>handling</i> (<i>doble check</i>).	El incremento de peso que conlleva el sistema provoque problemas de centrado y estabilidad de la aeronave durante el vuelo	Mejorar el sistema de estabilidad y control de la aeronave.	Peligrosas inclinaciones de la aeronave, posible final trágico.	Heridos por las turbulencias.

Tabla 9. Peligro 5: Problemas de masa y centrado

Peligro 6: Desprendimiento de elementos encima de núcleos de población				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
En el caso de viviendas, tener un control total de estas en el radar y que el uso del sistema esté prohibido dentro de un rango a determinar.	Las partes de las que el avión se desprende caigan encima de alguna persona o vivienda.	Mejora del sistema de geolocalización. Disponer de una base de datos actualizada periódicamente.	Destrucción de construcciones y muertes de personas que son independientes al vuelo. Esto conllevará muchos problemas legales.	Escándalo internacional por los fallecimientos.

Tabla 10. Peligro 6: Desprendimiento de elementos encima de núcleos de población

Peligro 7: Diferente combustible para motores y propulsores				
Barreras de Seguridad	Evento indeseable	Mitigaciones	Consecuencias potenciales	Severidad de las consecuencias
Realizar cursos de conciencia del peligro potencial que puede suponer, tanto a tripulaciones como a personal reponedor de combustible.	Exista un error humano o mecánico y se mezclen combustibles entre motores y propulsores.	Posibilidad de que sea seguro volar con otro tipo de combustible durante un periodo corto de tiempo.	Fallo motor durante un vuelo que no tenga ningún tipo de complicación ni se requiera la cápsula.	Necesidad de aterrizajes de emergencia que pongan en peligro al pasaje. Posible caída de la aeronave.

Tabla 11. Peligro 7: Diferente combustible para motores y propulsores

Consecuencias				Probabilidad				
Daño a las personas	Daño en el lugar	Daños materiales	Impacto en la reputación	Imposible	Improbable	Posible	Probable	Muy frecuente
Sin daños	Sin daños	Sin daños	Sin impacto					
Leves	Leve	-1.000€	Leve					
Grave	Localizado	-5.000€	En el sector			5		
1 muerto	Amplio	+50.000€	Nacional		1	7		
Múltiples muertes	Masivo	+100.000€	Internacional	4	2	3	6	

Tabla 12. Clasificación de Riesgo

Nivel de Riesgo	Descripción del Nivel de Riesgo	Acciones por tomar
Bajo	Tratamiento normal de incidente	Se puede utilizar el sistema pero se deben tomar medidas de control
Medio	Activar medidas de reducción de riesgo	Se deben tomar medidas de control antes de utilizar el sistema
Extremo	Riesgo no aceptable	Sistema no es viable, se debe llevar a cabo una actividad diferente. Las medidas de control que se deben implementar para asegurar la seguridad son demasiado significativas.

Tabla 13. Acciones asociadas al nivel de riesgo que conlleve un peligro

Peligro 1 → La cápsula lleva una inercia debido a la velocidad que llevaba la aeronave, por lo que es prácticamente imposible que caiga completamente en vertical.

Peligro 2 → Este fallo mecánico debe ser impensable. Se debe realizar un control exhaustivo del sistema de paracaídas y unas revisiones periódicas para comprobar que todo está correcto.

Peligro 3 → Activación de la cápsula no es viable. La probabilidad de fallecimiento si se activa el sistema es demasiado elevado, debe buscarse otra solución.

Peligro 4 → Si la propuesta de necesidad de confirmación por parte de ATC es definitiva, este deja de ser un problema potencial y pasa a ser imposible.

Peligro 5 → Riesgo aceptable, pero se debe reducir y evitar.

Peligro 6 → Por mucho control que se tenga de la población que se sobrevuela, no se puede concretar 100% donde será la caída de los elementos ya que el viento tiene un papel fundamental. Si se lleva a cabo este método de salvamento se debe hacer un estudio para analizar si es viable, teniendo en cuenta los riesgos potenciales que supondrá.

Peligro 7 → Se deben realizar pruebas para comprobar las consecuencias potenciales que podría llegar a causar. También se debería dejar cierta separación entre el depósito de los propulsores y los depósitos de las alas que van dirigidos a los motores.

CONCLUSIONES

Implementar esta medida de seguridad en la flota ya existente sería una tarea que supondría un tiempo de trabajo y un coste enorme. La estructura que forma la aeronave en si se debería desmontar y prácticamente sería como construir el avión de nuevo, desde cero. Ninguna aerolínea tomaría esta práctica, ya que su actividad se vería afectada demasiado tiempo y perderían mucho mercado. Este estudio está enfocado al futuro, en la búsqueda constante de nuevos materiales más ligeros y resistentes. Es una idea que se debe tener en cuenta en la fase de diseño de nuevas aeronaves, o en las ya existentes, que se quieran seguir construyendo.

Aunque los gastos de producción sean algo elevados, esta medida de seguridad haría que la idea de la población de que el avión es el sistema de transporte más seguro calara hondo. Este dato ya está constatado, pero el temor de cierta gente a que en caso de accidente la posibilidad de sobrevivir sea muy reducida hace que este sistema de transporte todavía no sea usado por el 100% de la población.

La idea inicial era aplicar este sistema en cualquier tipo de aeronave (Transporte Aéreo Comercial, Privado, Aviación General, etc), helicópteros, etc. Una vez realizado el estudio se ha comprobado que el peso que se añadiría a la aeronave provocaría una gran reducción en el *payload* para poder cumplir con los pesos restrictivos (MTOW, MLW, etc). Si realmente el sistema se llevara a cabo se debería profundizar más en la búsqueda de materiales más ligeros o se debería reducir el peso ya existente que forma el OEW de las aeronaves. En el caso de que no fuera posible la reducción, la única solución sería reducir el número de pasajeros en los vuelos. Esta acción podría provocar la pérdida de interés en el sistema por parte de las aerolíneas, dependiendo del interés que muestren en incrementar la seguridad y subir el porcentaje de posibilidad de sobrevivir a una catástrofe.

Si visto todo lo anterior se decidiera que las ganancias potenciales no fueran suficientes, se podría limitar el sistema en aviación general, aviones de escuela, privados, jets, etc. En este tipo de aviación ligera, quizás tendría más sentido estudiar la implementación de un paracaídas al conjunto de la aeronave, sin necesidad de uso de cápsula ni desprendimiento de elementos (Cirrus ya dispone de este sistema).



Figura 13. Sistema CAPS (Cirrus Aircraft Parachute System) Cirrus SR22

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Accidente Japan Airlines 123:
<http://www.aviation-accidents.net/japan-airlines-boeing-b747-sr-100-ja8119-flight-jal123/>
https://es.wikipedia.org/wiki/Vuelo_123_de_Japan_Airlines#cite_note-1
- [2] Accidente RA1112.:
<http://avherald.com/h?article=44102c56&opt=0>
https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_del_Antonov_An-26_de_la_Fuerza_A%C3%A9rea_de_Rusia
- [3] Accidente Lion Air 610:
<http://avherald.com/h?article=4bf90724/0009&opt>
https://es.wikipedia.org/wiki/Vuelo_610_de_Lion_Air
- [4] Accidente Air France:
https://es.wikipedia.org/wiki/Vuelo_447_de_Air_France
<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19850812-1>
- [5] Accidente Ethiopian 302:
<http://avherald.com/h?article=4c534c4a/0023&opt=>
- [6] Tren de aterrizaje:
https://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_aterrizaje
- [7] Paracaídas:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/paracaidista/paracaidista.html>
<https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/rktvrecv.html>
<https://mse.redwoods.edu/darnold/math55/DEproj/sp15/EthanRetherford/paper.pdf>
- [8] Parachute Size Estimator:
<https://launchwithus.com/lwu-blog/2016/02/17/parachute-size-estimator-for-high-altitude-balloons>
- [9] Información A320:
<https://www.condor.com/eu/fly-enjoy/condor-partner/our-fleet/airbus-a320-200.jsp>
<https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/Airbus-A320.html>
[https://www.academia.edu/26448026/Estudio de Performances y Consumo de combustible A320](https://www.academia.edu/26448026/Estudio_de_Performances_y_Consumo_de_combustible_A320)
- [10] Información B747:
<http://www.modernairliners.com/boeing-747-jumbo/boeing-747-specs/>
<https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/Boeing-747-200.html>

- [11] Motor de cohete:
https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_cohete#Rendimiento_general_de_los_motores_cohete
- [12] Materiales:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>
<http://www.abellanpintors.com/materiales-ignifugos-proteccion-pasiva-contraincendios/>
<http://sandglasspatrol.com/IIGM-12oclockhigh/Materiales%20Aeronauticos.htm>
https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Ghalambaz2/post/Why_have_I_reached_unrealistic_deflection_for_a_clamp_beam_under_its_weights/attachment/59d622406cda7b8083a1bcbf/AS%3A273826997309442%401442296851694/download/materials.pdf
<https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>
- [13] Materiales A380:
<https://www.slideshare.net/KanchhaLama/application-of-composite-materials-in-aerospace-industry-1>
- [14] Precio CFRP:
<http://www.pluessag.ch/en/cfrp-products/cfrp-technical-information.html>
- [15] Safety Risk Assessment:
<http://www.brightoncollege.ae/MainFolder/docs/TEACHERS-AREA/EHS/Appendix-1---Risk-Assessment-Template.pdf>
<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/ECASTSMSWG-GuidanceonHazardIdentification1.pdf>
- [16] Cirrus:
<http://www.antos.es/volar-cirrus-espana/>



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANEXOS

ANEXO A: BOCETOS CÁPSULA

